Mitteilungen aus der Biologischen Versuchsanstalt der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.

Botanische Abteilung, Vorstand L. v. Portheim.

6.

Wachstumsreaktionen von Keimlingen, hervorgerufen durch monochromatisches Licht.

I. Rot

von

Helene Jacobi.

(Vorgelegt in der Sitzung am 18. Juni 1914.)

Gelegentlich der Besprechung des Einflusses von monochromatischem Licht auf die Pflanzen, sagt Pfeffer,[1] daß es schwierig sei, die direkte und indirekte Bedeutung der verschiedenen Strahlen in den vom Lichte abhängigen Funktionen festzustellen. Diese Schwierigkeit beruht ebensosehr auf der ungenauen Isolierung der verwendeten Strahlenbezirke, als auch auf der Kompliziertheit der in der Pflanze hervorgerufenen Reaktion. Ich war bei diesen Untersuchungen bemüht, durch Verwendung von möglichst monochromatischem Licht, wenigstens einen Teil der Unklarheit und Unsicherheit zu vermindern.

Die Beobachtung einer Reaktion des Längenwachstums,[2] welche infolge der Beleuchtung mit weißem Licht bei etiolierten Keimlingen auftritt, veranlaßte mich weitere Untersuchungen,

---

1 Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 12. Aufl., 2. Bd., p. 117.

2 Jacobi, Wirkung versch. Lichtint. u. Belichtungsdauer. Wiener Ber., Bd. CXX, Abt. I (1911), p. 1001.

und zwar über den Einfluß von homogenem Licht auf diese Keimlinge vorzunehmen. Vorerst sollte die Wirkung der roten Strahlen festgestellt werden. Die Herstellung dieses Lichtes machte einige Schwierigkeiten, besonders da die Lichtintensität eine hinreichend große bleiben sollte.

Belichtungsmethoden.

Es wurden verschiedene Methoden erprobt, die alle dahin zielen, wirklich monochromatisches Licht zu erhalten. Als erstes geschah dies mit den bei botanischen Untersuchungen zumeist verwendeten Lösungen von Kaliumbichromat und zwecks Vergleiches, auch von Kupferoxydammoniak.

Die spektroskopische Untersuchung ergab, daß Kaliumbichromat auch in konzentrierter Lösung die kurzwelligen Strahlen nur unvollkommen absorbiert, Kupferoxydammoniak die langwelligen noch weniger. Dadurch wurde bei Benutzung von Senebier'schen Glocken oder bei Vorschaltung von Küvetten, die mit den genannten Lösungen gefüllt waren, vor die Lichtquelle nur ein, besonders in einem Teil des Spektrums geschwächtes Licht erhalten.

Es mußten daher andere Mittel zur Herstellung monochromatischen Lichtes angewendet werden. Solche sind die Verwendung farbiger Gläser oder bestimmter Lösungen als Lichtfilter. Insbesondere die ersteren erwiesen sich wegen der Einfachheit der Hantierung als praktisch. Es wurde zuerst eine Kombination von drei roten Glasplatten benutzt. Sie hatten die Ausmessungen von 5 *cm* × 5 *cm* und ließen Wellen von 709 μμ — 608 μμ durch. Eine einzelne, später erhaltene, rote Glasplatte von der Größe 25 *cm* × 25 *cm* wurde dann ebenfalls erprobt. Ihre Durchlässigkeit war 701 μμ — 608 μμ.[1] Die Platten ließen also von leuchtenden Strahlen nur Rot und einen geringen Teil des Orange durch, erwiesen sich demnach als vollkommen zweckentsprechend.

---

[1] Die genaue Absorptionsbestimmung der Gläser nahm außer uns Herr Dr. Hausmann vor, und zwar mittels eines Zeiß'schen Spektrographen und einer Nernstlampe als Lichtquelle, ich danke ihm an dieser Stelle bestens dafür.

Die von Nagel[1] und Busk[2] angewandte Lösung von Lithiumkarmin absorbiert alle Strahlen bis auf die roten. Sie läßt nach Busk bei 0·1 prozentiger Konzentration und bei einer 1 *cm* dicken Schicht nur Strahlen von 748 μμ—622 μμ durch, wenn die Lichtquelle eine Nernstlampe ist. Da bei den folgenden Versuchen auch Bogenlicht benutzt wurde, mußte die Konzentration der Lösung eine stärkere sein. Sie war 2% bei einer Schichtdicke von 7 *mm*.

Als Gefäße für die Lösungen kamen in Betracht: Eine Senebier'sche Glocke von $4^1/_2$ *l* Inhalt und zweierlei Cuvetten: Größere von den Maßen 25 *cm* Höhe, 15 *cm* Breite und 5 *cm* Lumen und kleinere von 8 *cm* Höhe, 9 *cm* Breite und 7 *mm* Lumen. Die größeren Cuvetten wurden vorgeschaltet, wenn Metallfadenlampen die Lichtquelle waren, die kleineren, wenn eine Bogenlampe benutzt wurde. Die Senebier'schen Glocken wurden bei Bogen- und Glühlampenlicht verwendet. Bei Vorschaltung der Küvetten war die Belichtung eine seitliche in einer Distanz von 25 *cm* von den Versuchsobjekten. Bei den Senebier'schen Glocken erfolgte die Belichtung entweder mittels Glühlampen von zwei Seiten oder durch Bogenlicht von oben.

Versuchsanordnung.

Die Versuche wurden in einer geräumigen Dunkelkammer ausgeführt. Versuchsreaktion war die eingangs erwähnte des Längenwachstums etiolierter Keimlinge. Werden nämlich im Dunkeln gezogene Keimlinge von *Phaseolus vulgaris, Triticum vulgare* und *Sinapis alba* mit weißem Licht von ziemlicher Stärke sehr kurze Zeit beleuchtet, so erfolgt stets eine Beschleunigung des Längenwachstums im Vergleich zu dauernd verdunkelten Keimlingen. Es war nun festzustellen, welcher Anteil des weißen Lichtes diese Reaktion hervorruft.

Versuchspflanzen waren bei diesen Untersuchungen etiolierte Keimlinge von *Triticum vulgare.* Sie wurden in der

---

[1] Nagel, Über flüssige Strahlenfilter. Biolog. Zentralblatt, XVIII., p. 649 (1898).

[2] Busk, Über farbige Lichtfilter. Mitteil. aus Finsen's mediz. Lichtinst. 10. Heft, p. 1 (1906).

Dunkelkammer unter Blechstürzen gezogen, kamen aber beim Versuchsbeginn in einen schwarz ausgeschlagenen, leicht transportablen Kasten. Zu dieser Zeit hatten alle fünf, im Topfe belassenen, nahezu gleich großen Keimlinge keine geringere Länge als 0·8 *cm*. Waren die stets nahezu gleich langen Keimlinge länger als 2·5 *cm*, so wurden sie nicht mehr benutzt. Ihre Messung erfolgte bei sehr schwachem Glühlampenlicht (10 NK. in 3 *m* Distanz). Hierauf wurden sie im Belichtungskasten aufgestellt. Dieser hatte dieselbe Größe wie der vorhin erwähnte Dunkelkasten. Beide standen unmittelbar nebeneinander. Nach der Belichtung wurden die Pflanzen in den ersten, vollständig verschließbaren Kasten gebracht und hier je nachdem einmal 24 Stunden, zweimal 24 Stunden usw. stehen gelassen, dann erfolgte die zweite Messung, womit der Versuch abgeschlossen war. Die Keimlinge wurden bei der überwiegenden Mehrzahl nicht länger kultiviert, als die Koleoptile im Dunkeln wächst, d. i. bis zu Maximum 7 *cm*. Nur bei einigen Versuchen mußte diese Zeit notwendigerweise überschritten werden, und zwar dann, wenn die Versuchsdauer länger als 3 bis 4 Tage währte.

Bezüglich der Temperatur sei folgendes angegeben: Sie war in der Dunkelkammer eine ziemlich konstante, 16 bis 18° C., und erniedrigte sich im Winter nur vorübergehend während der notwendigen Lüftung. Bei Temperaturmessungen, die im Belichtungskasten selbst vorgenommen wurden, konnte nach einer Stunde Belichtung überhaupt keine nennenswerte Temperaturerhöhung konstatiert werden, wenn eine große, mit Lösung gefüllte Küvette vorgeschaltet wurde und die Lichtquelle eine Glühlampe von 100 NK. war. Hinter einer kleinen gefüllten Küvette ergab sich bei Bogenlicht nach einer halben Stunde eine Erhöhung von $^1/_2$° C., wenn die Bogenlampe 25 *cm* entfernt war.

Die starke Absorption der Wärmestrahlen durch Wasserschichten von geringer Dicke wird auch von Finsen[1] konstatiert, ebenso daß Wasser, auch wenn es eine höhere Temperatur

---

[1] Finsen, »Über die Anwendung konzentrierter chemischer Lichtstrahlen in der Medizin« (fortgesetzte Mitteilung). Mitteil. aus Finsen's Mediz. Lichtinst., Heft 3 zitiert nach Jesianek, a. g. O.

besitzt, gleichfalls Wärme absorbierend wirkt. Bei Verwendung der roten Gläser war keine besondere Kühlung vorgesehen, da erstens die Erhöhung der Temperatur nach halbstündiger Belichtung nur 1° C. betrug und diese Expositionsdauer nicht überschritten wurde und weil jede Kühlungsvorrichtung die Lichtintensität zu sehr herabgesetzt hätte.

Auch die Feuchtigkeitsverhältnisse konnten während der Beleuchtung nicht sonderlich verschiedene sein, da erstens die Temperaturerhöhungen nur geringe waren und zweitens die Größe des Belichtungs- und Dunkelkastens eine gleiche war.

Erste Versuchsreihe.

Orientierende Vorversuche mit destilliertem Wasser, konzentrierter Kaliumbichromatlösung und konzentrierter Lösung von Kupferoxydammoniak, in Küvetten (Größe 25 *cm* × 15 *cm* × 5 *cm*). Die lichtdurchlässige Fläche betrug 20 *cm* × 10 *cm*.

Lichtquelle: Metallfadenlampe von 100 NK. Stärke.

Belichtungsdauer: 15 Sekunden bis 3 Stunden.

Tabelle I.

15 Versuche mit 300 Pflanzen.

Belichtungsdauer	Weiß	Blau	Gelb	Dunkel
15 Sekunden	1·78	1·83	1·68	1·75
30 Sekunden	1·73	1·81	1·64	1·69
1 Minute	2·11	1·96	1·88	1·92
2 Minuten	2·31	2·37	2·15	2·17
3 »	2·62	2·40	2·32	2·35
4 »	2·53	2·50	2·42	2·45
5 »	2·77	2·90	2·69	2·70
10 »	1·84	1·76	1·85	1·91
15 Minuten	1·82	1·79	1·63	1·64
30 »	2·85	2·70	2·63	2·67
45 »	2·30	2·38	2·25	2·27
1 Stunde	2·11	2·06	1·95	2·24
$1^1/_2$ Stunden	2·14	2·06	2·02	2·20
2 »	2·17	1·98	2·15	2·20
3 »	2·53	2·03	2·41	3·02

Die Tabelle enthält, wie alle folgenden, die Wachstumsintensitäten berechnet aus den zwei Messungen, und zwar bei dieser Tabelle aus jenen, welche am Anfang und am Ende von 24 Stunden erhalten wurden. Die hierzu verwendeten Zahlen sind der Durchschnitt der Länge von je 5 Keimlingen.

Die Kolonne des weißen Lichtes zeigt bis zu einer Stunde fast durchgehends eine Beschleunigung des Längenwachstums im Vergleich zur Dunkelpflanze; die Kolonne des blauen Lichtes desgleichen. Erst nach einstündiger Belichtung erfolgt bei beiden der Umschlag zur Verzögerung. Die Kolonne des gelben Lichtes hingegen zeigt durchwegs geringere Wachstumsintensitäten als die der Dunkelpflanzen.

Demnach führt Licht, welches vorwiegend blaue Strahlen enthält, bei kurzen Belichtungszeiten ebenso eine Beschleunigung des Längenwachstums von *Triticum*-Keimlingen herbei, wie das weiße Licht. Letzteres wurde meinerseits bereits nachgewiesen.[1]

Licht jedoch, das vorwiegend dem schwächer brechbaren Teil des Spektrums angehört, verursacht innerhalb der gesamten verwendeten Belichtungszeiten eine Verzögerung des Wachstums.

Bezüglich dieser Versuche sei noch folgendes bemerkt: Die Lichtintensität, welche nach dem Durchgang des weißen Lichtes durch die Küvetten resultierte, war natürlich bei den drei Flüssigkeiten sehr verschieden. Es handelt sich aber auch bei diesen, wie bei allen folgenden Versuchen nicht um die Aufstellung von Parallelversuchen bei Licht von gleicher Intensität, sondern darum, daß überhaupt bei einer bestimmten Lichtfarbe und Intensität, eine bestimmte Reaktion auftritt. Es bietet auch der Versuch, die völlig gleiche Abstimmung der Intensität von verschiedenem monochromatischem Licht herzustellen, kaum überwindbare Schwierigkeiten.

Zweite Versuchsreihe.

Versuche mit einer Senebier'schen Glocke, die mit Kaliumbichromatlösung gefüllt ist. Beleuchtungszeit eine halbe Stunde.

---

[1] Jacobi, a. g. O.

Lichtquellen von verschiedener Intensität.

Beleuchtung durch die Glühlampen von zwei Seiten, durch die Bogenlampen von oben.

Tabelle II.

4 Versuche mit 40 Pflanzen.

Intensität	Gelb	Dunkel
2× 16 NK	1·66	1·77
2× 50 NK	2·17	2·30
2×100 NK	1·63	1·68
Bogenlampe	2·89	3·33

Es tritt in allen Fällen sowohl bei geringer, als auch bei starker Lichtintensität eine Verzögerung des Längenwachstums ein.

Die Versuche mit der Senebierschen Glocke und der Belichtung mittels Bogenlampe wurden fortgesetzt und hierbei die Exponierungszeit auf 10 Minuten herabgesetzt.

Die Keimlinge wurden nach der Belichtung einmal 24 Stunden, zweimal 24 Stunden und dreimal 24 Stunden lang im Dunkeln weiter kultiviert.

Tabelle III.

30 Versuche mit 250 Pflanzen.

1×24 Stunden		2×24 Stunden		3×24 Stunden	
Gelb	Dunkel	Gelb	Dunkel	Gelb	Dunkel
1·07	1·30	1·88	1·81	6·45	6·18
1·48	1·61	1·89	1·81	6·28	6·18
1·53	1·58	1·93	1·81	6·02	6·18
1·42	1·58	2·20	2·47	2·31	2·25
1·44	1·58	2·16	2·47	2·30	2·25
1·55	1·58	2·58	2·47	2·29	2·25
1·65	1·82	3·58	3·86	5·95	5·55
1·69	1·82	3·53	3·86	6·22	5·55
1·83	1·98	3·52	3·86	5·67	5·55
1·80	1·98	3·40	3·35	4·70	4·58

Nach einmal 24 Stunden ist allemal Verzögerung festzustellen; nach zweimal 24 Stunden zeigen sich schon Beschleunigungen und nach dreimal 24 Stunden ist fast überall Beschleunigung vorhanden. Ob dies ein vollständiges Abklingen der durch Belichtung hervorgerufenen Reaktion bedeutet, oder ob bei längerer Kultur im Dunkeln eine erneute Aufeinanderfolge von, wenn auch schwächerer Verzögerung und Beschleunigung auftritt, wurde in diesem Falle nicht ermittelt.

Diese Resultate widersprechen den meisten bisherigen Angaben über das Wachstum der Pflanzen unter dem Einfluß der schwächer brechbaren Strahlen. So konstatiert Pfeffer,[1] »daß Pflanzen hinter Kaliumbichromat zwar ergrünen, sonst aber sich wie Dunkelpflanzen verhalten.« Ähnliche Angaben finden sich bei Jost.[2]

Um die Ursachen dieser Unstimmigkeit teilweise finden zu können, wurden weitere Untersuchungen mit einfachem roten Licht unternommen, da, wie schon erörtert wurde, Kaliumbichromat die blauen Strahlen nicht vollständig absorbiert.

In der Tabelle sind sechs Versuchsgruppen zusammengestellt. Die erste und zweite Gruppe zeigt die Wachstumsintensitäten, die einmal 24 Stunden nach der Belichtung erhalten wurden; die zweite Gruppe diejenigen, welche sich nach zweimal 24stündigem Aufenthalt im Dunkeln ergaben usw. bis zu fünfmal 24 Stunden.

Bei einem Vergleiche der Kolonnen mit Angabe der gleichen Belichtungszeiten, zeigt sich, daß bei den nach einmal 24 Stunden abgestellten Versuchen, die 5 und 10 Sekunden lang belichteten Keimlinge schwankende Resultate ergeben. Bei 5 Minuten sind fast stets und bei einer halben Stunde sind immer Verzögerungen vorhanden. Die Gruppen von zweimal und dreimal 24 Stunden Versuchsdauer zeigen in der Kolonne der 10 Sekunden zumeist schon Beschleunigung, während in jener der 5 Minuten und einer halben Stunde die Verzögerung noch anhält. Nach viermal 24 Stunden sind

---

[1] Pfeffer, A. g. O., p. 117.

[2] Jost, Pflanzenphysiologie, Jena 1904, p. 379.

Dritte Versuchsreihe.

Triticum vulgare, mit einfachem roten Licht (Plattenkombination) beleuchtet. Lichtquelle: Bogenlampe. Belichtungszeiten: 5 Sekunden, 10 Sekunden, 5 Minuten, eine halbe Stunde.

Tabelle IV.

48 Versuche mit 880 Keimlingen.

1×24 Stunden		1×24 Stunden				2×24 Stunden				3×24 Stunden				4×24 Stunden				5×24 Stunden			
Dunkel	5 Sekunden	Dunkel	10 Sekunden	5 Minuten	Eine halbe Stunde	Dunkel	10 Sekunden	5 Minuten	Eine halbe Stunde	Dunkel	10 Sekunden	5 Minuten	Eine halbe Stunde	Dunkel	10 Sekunden	5 Minuten	Eine halbe Stunde	Dunkel	10 Sekunden	5 Minuten	Eine halbe Stunde
1·26	1·45	1·96	1·95	1·84	1·47	3·13	4·21	3·09	2·94	2·86	3·47	2·72	2·70	5·50	4·67	4·38	5·65	8·13	7·84	8·76	8·32
1·26	1·46	1·72	1·75	1·96	1·64	3·13	3·20	2·82	2·90	2·86	3·00	2·45	2·30	7·53	7·77	8·15	6·87	5·31	6·11	6·55	6 03
1·26	1·37	1·87	1·95	1·84	1·69	3·78	3·91	3·76	3·71	3·21	3·09	2·91	2·85	5·26	6·62	5·76	4·60	10·22	13·88	12·54	10·82
1·87	1·68	2·06	2·07	1·97	1·72	2·85	2·46	2·59	2·36	3·65	4·47	3·20	2·92	5·57	6·04	5·78	4·86	4·72	5·13	5·96	4·80
1·87	1·59	1·66	1·61	1·55	1·43	2·53	2·47	2·42	1·96	4·88	4·69	4·85	3·78	4·42	4·83	4·71	4·28	8·40	8·45	8·69	8·56
1·87	1·49	3·33	3·41	3·09	2·88	3·48	4·23	3·10	3·00	7·62	7·72	7·50	5·82	3·49	4·24	4·01	3·73	3·05	3·17	3·25	3·14
1·14	1·17	2·06	2·19	2·09	1·59	3·48	4·30	3·65	3·32	3·64	3·51	3·49	2·94	4·26	4·60	4·87	4·52	4·10	3·93	4·20	4·13
1·14	1·15	1·72	1·77	1·63	1·57	3·69	4·42	3·66	3·20	5·27	5·44	5·05	5·03	3·45	4·40	3·86	3·78	5·42	6·38	7·55	6·24

bei 10 Sekunden und 5 Minuten nahezu durchwegs Beschleunigungen vorhanden, bei einer halben Stunde treten sie zum erstenmal auf. Endlich nach fünfmal 24 Stunden zeigen fast alle Pflanzen ein beschleunigtes Wachstum. Dabei erweisen sich die Wachstumsintensitäten der 5 Minuten in der Regel als größer als die der 10 Sekunden lang belichteten Keimlinge.

Aus den Versuchen der dritten Versuchsreihe ergibt sich, daß Keimlinge von *Triticum vulgare* bei Belichtung mit rotem Licht von genügender Intensität und bei entsprechender Einwirkungsdauer, nach weiterer Kultivierung im Dunkeln, zuerst eine Verzögerung des Längenwachstums zeigen. Diese Verzögerung wird bei Verlängerung des Aufenthaltes im Dunkeln immer geringer und es tritt allmähliche Beschleunigung an ihre Stelle. Die Beschleunigung zeigt sich zuerst bei den durch kurze Zeit belichteten Keimlingen und tritt erst später bei den länger belichteten auf. Aber auch die Beschleunigung scheint dann wieder abzuklingen.

Bei der von mir beobachteten Erscheinung,[1] daß stärkeres weißes Licht bei kurzer Einwirkungsdauer nachher im Dunkeln eine Beschleunigung des Längenwachstums der Keimlinge hervorruft, kann es sich also wohl nicht um den Einfluß des roten Lichtes, sondern um den Einfluß der stärker brechbaren Strahlen des Spektrums handeln. Außerdem zeigt es sich, daß die roten Strahlen, ebenso wie die kurzwelligen Strahlen des Spektrums hemmend auf das Längenwachstum wirken können. Es wird also wohl keinem der beiden Strahlenbezirke eine spezifische Wirkung in dem Sinne zukommen, als nur einer allein eine bestimmte Reaktion der Pflanzen hervorzurufen vermag, sondern es dürfte eben nur ein gradueller Unterschied in der quantitativen Wirkungsweise der beiden Strahlengebiete vorhanden sein.

Dies wird auch durch Erfahrungen auf botanischem und anderen Gebieten bestätigt. So beobachtet Engelmann[2]

---

[1] Jacobi, A. g. O.

[2] Engelmann, Die Entstehungsweise der Sauerstoffausscheidung. Amsterdamer Akad. d. Wiss. (1904) und Botan. Zeitung. (1881, 1883, 1887).

im Blau ein zweites Maximum der Assimilationskurve. Kniep und Minder[2] kommen gleichfalls zu dem Resultat, daß nicht nur die roten, sondern auch die kurzwelligen Strahlen eine erhebliche assimilatorische Wirkung haben. Jesionek[3] nennt die strahlende Energie »einen Komplex der verschiedensten Strahlen, welcher in die Gebiete der elektrischen, thermischen, optischen und chemischen Strahlen zerlegt werden kann«. Doch faßt er dies nicht in dem Sinne auf, daß sich scharfe Grenzen bezüglich dieser Gebiete ergeben, sondern er zeigt an einigen Kurven, daß z. B. die chemischen Strahlen durchs ganze Spektrum, also auch im Rot wirksam erscheinen. So konstatiert Wiesner[4] auch im Rot Heliotropismus, welche Wirkung Jost[5] freilich »eine Erscheinung für sich« nennt, und zwar verwandt dem Thermotropismus. Waldemar Bie[6] zeigt, daß rotes Licht, ähnlich wie blaues, bakterientötend wirkt, allerdings erst nach längerer Einwirkung.

Worauf es aber bei der Einwirkung von Strahlen auf Pflanzen vor allem ankommt, sagt Pfeffer[7] klar und deutlich. Er verlangt, »daß fernerhin, besser als bisher es geschah, die primäre Wirkung der verschiedenen Lichtstrahlen und die Folgen des verlängerten Aufenthaltes im farblosen Licht auseinandergehalten werden.«

Handelt es sich also um die Beobachtung möglichst primärer Reaktionen in Folge von Lichtbestrahlung, so darf die Einwirkung des Lichtes nicht über zu lange Zeiten erstreckt werden.

---

[2] H. Kniep und F. Minder, Über den Einfluß verschiedenfarbigen Lichtes auf die Kohlensäureassimilation. Zeitschr. für Botan., *1*, 630 (1909), zitiert nach dem Referat im Jahresbericht über die Fortschritte der Tierchemie, Bd. 39 (1909).

[3] Jesionek, Lichtbiologie und Lichtpathologie. Wiesbaden 1912, p. 5.

[4] Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreich. Denkschr. d. Kaiserl. Akad. d. Wiss. in Wien, Bd. 39 und 43.

[5] Jost, Pflanzenphysiologie, Jena 1904, p. 583.

[6] Waldemar Bie, Untersuchungen über die Wirkung der verschiedenen Abteilungen des Spcktrums. Mitteil. aus Finsens Mediz. Lichtinst. (1900), Heft 1.

[7] Pfeffer, A. g. O.

Ferner muß auch die Wirkung des monochromatischen Lichtes von der des bloß geschwächten unterschieden werden. Die nächste Versuchsreihe soll den Unterschied der Wirkungsweise von stärkerem und schwächerem Licht zeigen.

Vierte Versuchsreihe.

Die folgenden zwei Tabellen geben die Resultate zweier Parallelversuche wieder. Bei dem ersten Versuch wurden drei Küvetten (Größe 9 *cm* × 8 *cm* × 7 *cm*), die mit Kaliumbichromatlösung gefüllt waren, benutzt, bei dem zweiten die gleichen Küvetten, jedoch mit Lithiumcarmin gefüllt. Lichtquelle war immer die gleiche Bogenlampe. Es wurde zuerst eine gefüllte Küvette vorgeschaltet und 10 Minuten lang belichtet, beim nächsten Versuch zwei Küvetten und beim dritten Versuch drei Küvetten. Durch diese Vorschaltung ergab sich eine gleichmäßig abnehmende Intensität des Lichtes. Die Belichtungsdauer war immer dieselbe. Die zweite Messung wurde 24 Stunden nach der Belichtung vorgenommen.

Tabelle V.

Vorschaltung von ein, zwei, drei Küvetten, die mit Kaliumbichromatlösung gefüllt sind.

7 Versuche mit 140 Pflanzen.

Dunkel	Eine Küvette	Zwei Küvetten	Drei Küvetten
1·87	1·61	1·76	2·03
1·74	1·55	1·62	1·67
1·84	1·67	1·86	2·26
1·67	1·33	1·50	1·55
2·63	2·12	2·21	2·52
3·20	2·85	3·03	3·12
2·73	2·55	2·70	3·03

Tabelle VI.

Vorschaltung von ein, zwei, drei Küvetten, die mit Lithiumcarminlösung gefüllt sind.

6 Versuche mit 120 Pflanzen.

Dunkel	Eine Küvette	Zwei Küvetten	Drei Küvetten
1·46	1·35	1·40	1·43
2·08	1·66	1·73	1·96
2·08	1·43	1·65	1·94
2·05	1·59	1·81	1·89
2·54	1·97	2·03	2·30
2·14	1·76	1·97	2·01

Die Belichtung ergab bei den zwei verwendeten Lösungen ein ähnliches Resultat: Hinter einer mit Kaliumbichromatlösung gefüllten Küvette trat Verzögerung ein, hinter zweien eine geringere, hinter dreien zeigen sich schon Beschleunigungen.

Die rote Lithiumcarminlösung verursacht gleichfalls Verzögerung, welche bei Vorschaltung von zwei und drei Küvetten immer geringer wird. Beschleunigung zeigt sich jedoch noch keine.

In der nächsten Tabelle sind einige Versuche, welche bei sehr schwachem roten Licht ausgeführt wurden, zusammengestellt. Lichtfilter: Plattenkombination (Größe 5 *cm* × 5 *cm*). Lichtquelle: Metallfadenlampe von 50 NK Stärke. Die Expositionszeit beginnt mit einer Viertelstunde und wurde bis auf 8 Stunden ausgedehnt.

Tabelle VII.

5 Versuche mit 50 Keimlingen.

Beleuchtungsdauer	Dunkel	Rot
8 Stunden	2·73	2·78
4 Stunden	2·49	2·57
Eine Stunde	2·51	2·56
Eine halbe Stunde	3·48	4·24
Eine Viertelstunde	3·48	4 72

Die belichteten Keimlinge machten alle den Eindruck etiolierter Pflanzen, sie ergrünen, wachsen jedoch tatsächlich schneller als die Dunkelpflanzen.

Vergleicht man die Ergebnisse der letzten drei Versuchsgruppen (Tabelle V, VI und VII) mit den früheren Resultaten, so ergibt sich in diesem Falle als Ursache des beschleunigten Längenwachstums der Keimlinge die geringe Intensität des Lichtes, gleichgültig ob es einfaches oder gemischtes ist. Das rote Licht an sich hat mit dieser Beschleunigung anscheinend nichts zu tun.

Aus diesen Gründen dürfte es sich bei den Angaben, welche über Versuche mit Kaliumbichromatlösung als Lichtfilter vorliegen, erstens bei kurzer Einwirkungszeit um die Wirkung von geschwächtem Licht handeln. Zweitens könnte durch eine längere Versuchsdauer als Endresultat nicht die primäre Wirkung des Lichtes, sondern ebensogut irgend eine Nachwirkung desselben erhalten werden.

Zusammenfassung.

Die Einwirkung von langwelligen Strahlen auf das Längenwachstum etiolierter Keimlinge von *Triticum vulgare*, welche nach der Belichtung im Dunkeln weiter kultiviert wurden, hat folgende Resultate ergeben:

1. Rotes Licht ruft bei entsprechend großer Intensität eine Verzögerung des Längenwachstums der Keimlinge hervor.

2. Rotes Licht von geringer Stärke, hat ebenso wie schwaches weißes Licht eine Beschleunigung des Wachstums zur Folge.

3. Wird Kaliumbichromatlösung als Lichtfilter verwendet, so kann bei genügend großer Lichtintensität eine Verzögerung des Wachstums eintreten.

4. Die nach kürzerer und längerer Exposition in weniger intensivem Lichte hinter Kaliumbichromatlösung auftretende Beschleunigung des Wachstums kann die Wirkung schwachen Lichtes sein.

5. War die Reaktion, welche als Folge der Einwirkung des roten Lichtes oder eines solchen, welches Kaliumbichromatlösung passierte, auftrat, eine Verzögerung, so kann ihr eine Beschleunigung nachfolgen. Ob dieser wieder eine Verzögerung nachfolgt, also im ganzen sich vielleicht ein wellenförmiges Abklingen zeigt, soll später gründlich untersucht werden.
